

I. Ю. ШУБІН, І. В. КИРИЧЕНКО**ПРОГРАМНІ АГЕНТИ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ**

У даній статті розглянуто питання використання мультиагентного підходу для вирішення завдань управління ресурсами в системах електронного навчання. Підкреслено переваги мультиагентних систем у порівнянні з традиційними системами: забезпечують простоту реалізації, здатність до перенесення та масштабування, дозволяють проводити паралельні обчислення, керуються системами на основі знань, мають здатність до самоорганізації та еволюціонування. Запропоновано формалізацію задачі динамічного розподілу ресурсів на основі мережі потреб та можливостей. Визначено базові принципи побудови мережі, описано формальну модель взаємодії агентів. В статті запропоновано алгоритм, який дозволяє гнучко та оперативно вирішувати завдання розподілу інформаційних ресурсів відповідно до потреб середовища, які швидко змінюються. Виділено спеціалізовані компоненти для роботи агентів в системі: компонент комунікації агентів, компонент прийняття рішень та компонент потокових розрахунків.

Ключові слова: агент, мультиагентна система, електронне навчання, інформаційна технологія, оперативна обробка даних, взаємодія агентів, формальна модель, динамічна система.

И. Ю. ШУБИН, И. В. КИРИЧЕНКО**ПРОГРАММНЫЕ АГЕНТЫ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ**

В данной статье рассмотрены вопросы использования мультиагентного подхода для решения задач управления ресурсами в системах электронного обучения. Подчеркнуто преимущества мультиагентных систем по сравнению с традиционными системами: обеспечивают простоту реализации, способность к переносу и масштабированию, позволяют проводить параллельные вычисления, управляются системами на основе знаний, обладают способностью к самоорганизации и эволюционированию. Предложено формализацию задачи динамического распределения ресурсов на основе сети потребностей и возможностей. Определены базовые принципы построения сети, описана формальная модель взаимодействия агентов. В статье предложен алгоритм, который позволяет гибко и оперативно решать задачи распределения информационных ресурсов в соответствии с потребностями среды, которые быстро меняются. Выделены специализированные компоненты для работы агентов в системе: компонент коммуникации агентов, компонент решений и компонент потоковых расчетов.

Ключевые слова: агент, мультиагентная система, электронное обучение, информационная технология, оперативная обработка данных, взаимодействие агентов, формальная модель, алгоритм, динамическая система.

I. YU. SHUBIN, I. V. KYRYCHENKO**SOFTWARE AGENTS IN E-LEARNING SYSTEMS**

The usage of the multi-agent approach for solving resource management problems in e-learning systems is discussed in this paper. The advantages of multi-agent system comparing with traditional systems are emphasized. Such systems provide simplicity of implementation, transferability, and scalability, allow parallel computing, are guided by systems based on knowledge, have the ability to self-organize and evolve. The formalization of dynamic distribution of resources based on the network of the needs and opportunities is proposed. Two types of autonomous interacting agents are identified. They need agents and opportunity agents. All agents act in accordance with their own goals and according to certain rules, allowing them to act independently and interact with each other. As a relation between two types of agents was used conformity. The basic principles of network construction are defined. The formal model of interaction between agents is described. It was defined that one of the most often problems that can arise in the e-learning system is the problem of coordination. Partly this problem can be solved by the detailed elaboration of a set of decision-making rules. The article proposes an algorithm that allows flexible and prompt solving of information resources distribution tasks in accordance with the needs of rapidly changing environments. The specialized components for the agents in the system are defined: the agent communication component, the decision making component, and the component of the flow calculations. The main obstacles for multi-agent approach implementation are defined. They are: difficulties to evaluate the optimality of the decision; solutions are sensitive to the history of events; small changes in the system input can lead to significant changes in the output; there are some difficulties in adjusting the solution in the "manual" mode; misunderstandings in explaining the results as a consequence of complex causal relationships are possible; delays of solutions are liable to occur because of long chains of changes; it is possible to obtain non-identical solutions under the same conditions of input when re-launching the model.

Keywords: agent, multi-agent system, e-learning, information technology, operational data processing, agents interaction, formal model, algorithm, dynamic system.

Вступ. Освіта є однією з важливіших галузей економіки держави, яка обумовлює розвиток культури, науки, техніки та технологій. Можна стверджувати, що рівень розвитку держави залежить від якості освітньої системи, ефективності процесів управління та підтримки розвитку науки. Процеси розвитку в системі освіти є складними, з великою кількістю взаємних зв'язків та потребують нових прогресивних методів управління.

Відкритий характер сучасного інформаційного суспільства та розвиток економіки веде до прискорення науково-технічного прогресу та росту

конкуренції на ринку. Це призводить до необхідності пошуку нових методів та засобів управління, які повинні більш якісно та ефективно задовольняти індивідуальні потреби споживачів. Один з таких підходів передбачає побудову мережевої структури організації, де окремі підрозділи розглядаються як автономні підприємства. Перевагами такої організації є прямий характер взаємодії окремих підрозділів з іншими підприємствами, свобода приєднання та виходу із організації. Це дозволяє підприємствам адаптуватися до ринкових змін за рахунок гнучкості, відкритості, узгодженості та оперативності процесів

прийняття рішень.

При цьому такий тип організаційної структури передбачає розробку спеціальних систем щодо управління ресурсами, тому що існуючі традиційні програмні системи не задовольняють вимоги щодо своєчасної ідентифікації потреб, оперативного прийняття рішень, реструктуризації ресурсів для ефективного вирішення різноманітних завдань в умовах динамічного середовища.

Сучасний стан системи освіти в Україні характеризується наявністю ієрархічної структури, розподіленим характером та великою кількістю взаємозв'язків як всередині освітньої системи, так і з зовнішнім світом (наприклад, з органами влади, з підприємствами, зі споживачами). Це говорить про актуальність проблем управління в системі освіти на основі нових принципів, які враховують розподіленість, ієрархічність та складність структури об'єкту управління, а також дозволяють визначити узгоджене рішення завдань управління функціонуванням та розвитком. Одним з напрямків, які активно розвиваються в сучасних умовах глобальної інформатизації та Інтернету, є електронне навчання [1, 2]. Електронне навчання – це форма навчання, за якої основні носії навчальної інформації є електронними ресурсами, а засоби спілкування викладача та студентів ґрунтуються на використанні інформаційно-комунікаційних технологій, насамперед комп'ютерної техніки, мережевих технологій, зокрема Інтернет, й мобільного зв'язку [3]. Питанням щодо формалізації управління ресурсами в системі електронного навчання присвячена дана робота.

Огляд існуючих моделей. В останні роки широке розповсюдження отримав термін e-learning, який означає електронне навчання. Це поняття розглядається як розширення терміну дистанційне навчання. В Україні постійно зростає інтерес до систем електронного навчання, розроблено багато курсів, які орієнтовані на використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій для навчання [1, 3]. Тому питання ефективної організації таких систем є достатньо актуальним.

Сучасний підхід до вирішення завдань оперативної обробки інформації в процесах прийняття рішень пов'язано із застосуванням мультиагентних технологій, які сьогодні отримали інтенсивний розвиток [4, 5]. Інформаційні технології, які ґрунтуються на агентах, з'явилися на стику методів штучного інтелекту, об'єктно-орієнтованого програмування, паралельних обчислень та телекомунікацій. В основі цієї технології лежить поняття «агента», програмного об'єкта, здатного сприймати ситуацію, приймати рішення і взаємодіяти з собою подібними [6, 7]. Ці можливості кардинально відрізняють мультиагентні системи (МАС) від традиційно організованих систем, реалізуючи таку важливу властивість як здатність до самоорганізації. При цьому агенти можуть діяти від імені осіб, які приймають рішення, на основі виданих їм повноважень, тобто в автоматичному режимі вести

переговори, знаходити варіанти рішень та узгоджувати ці рішення.

Вирішення завдання одним агентом представляє точку зору класичного штучного інтелекту, згідно якої інтелектуальна система (агент) має усі необхідні здібності, знання та ресурси для вирішення задачі [6]. Розподілений штучний інтелект передбачає, що окремий агент може мати лише часткове уявлення загальної проблеми та здатен вирішити лише її частину [7]. Тому для вирішення складних завдань потрібна взаємодія множини агентів, що формує підґрунтя для концептуальної новизни новітніх комп'ютерних технологій із використанням мультиагентних систем.

Різні класи агентів і методи їх взаємодії розглядалися в роботах С. Рассела, М. Вулдріджа і Г. Вейсса, В. Хорошевського, В. Городецького, В. Тарасова і ряду інших авторів [6, 7, 8, 9, 10]. Серед українських авторів можна відмітити Суботіна С. О., Ладанюка П. П. та ін. [11, 12]. Разом з тим, у цих роботах методам колективної та узгодженої взаємодії агентів у відкритих системах приділялося недостатньо уваги, а існуючі застосування охоплювали переважно сфери електронної комерції та інформаційного пошуку.

Питанням щодо електронного навчання присвячені, наприклад, праці таких авторів як Кравцов Г. М., Биков В. Ю., Шишкіна М. [13, 14, 15, 16], які розглядають проблеми створення ефективних систем електронного навчання з різноманітних точок зору.

Не зважаючи на велику кількість публікацій щодо проектування та застосування мультиагентних систем, зокрема в системах електронного навчання, питання оперативної обробки даних для вирішення завдань розподілу ресурсів в режимі реального часу залишаються відкритими.

Метою даної роботи є підвищення ефективності процесів прийняття рішень в системах електронного навчання шляхом розробки моделей та програмних компонент для побудови відкритої мультиагентної системи для оперативної обробки даних.

Для досягнення поставленої мети необхідно розробити принципи побудови відкритих мультиагентних систем підтримки прийняття рішень, які забезпечують оперативну ідентифікацію потреб та можливостей в процесі формування рішень, а також формалізувати взаємодію агентів в таких системах. Вирішення поставлених завдань дозволить розробити архітектуру мультиагентної системи, дослідити характеристики розроблених методів та взаємодії агентів, застосувати теоретичні розробки для побудови мультиагентної системи підтримки прийняття рішень в системі електронного навчання. Дана стаття присвячена питанням розробки принципів побудови мультиагентних систем для електронного навчання.

Формалізована модель мультиагентної системи електронного навчання. Ресурси є

невід'ємною складовою організації навчального процесу як в традиційних освітніх системах, так і в сучасних системах електронного навчання. На відміну від традиційної системи освіти, де головними типами ресурсів є кадри та матеріальне забезпечення, в системах електронного навчання на перше місце виходять інформаційні ресурси, які є різними за змістом та формою, можуть бути розподіленими та зазвичай характеризуються динамічною потребою. Для ефективної роботи системи навчання необхідно реалізувати програмну систему, яка повинна забезпечити як функціонування так і завдання управління та координації процесів електронного навчання.

У порівнянні із традиційними, програмні системи, які базуються на агентному підході, мають певні переваги для вирішення складних слабо структурованих завдань управління [5, 7, 9, 17].

По-перше, архітектура програмної мультиагентної системи являє собою велику мережу окремих автономних програмних агентів, що забезпечує простоту реалізації, відкритість, здатність до перенесення та масштабування.

По-друге, мультиагентна організація дозволяє реалізувати дійсно паралельне обчислення за рахунок незалежності роботи окремих програмних агентів.

По-третє, програмні системи, які основані на агентах, керуються системами на основі знань, на відміну від традиційних систем підтримки прийняття рішень, які керуються даними.

По-четверте, використання мультиагентної технології для вирішення складних завдань управління дозволяє отримувати розподілені рішення на відміну від централізованих механізмів традиційних програмних систем.

По-п'яте, мультиагентні системи, як клас систем штучного інтелекту, мають властивості самоорганізації та еволюціонування, що надає можливість використання переваг інтелектуальних технологій прийняття рішень.

Таким чином, сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій та програмної інженерії пов'язані з використанням агентного підходу до вирішення різноманітних прикладних завдань автоматизації діяльності в різних галузях економіки.

Можна підкреслити такі особливості мультиагентного підходу як:

- функціонування програмної системи будується залежно від подій, які відбуваються в реальному часі;

- програмні агенти працюють асинхронно та квазіпаралельно, аналізуючи і перебудовуючи поточний стан шляхом встановлення або перегляду зв'язків, що призводить до їхньої самоорганізації;

- рішення агентами приймаються еволюційно, при цьому можливо змінюються прийняті раніше рішення.

Такий підхід дозволяє розглядати отримане рішення як «нестійку рівновагу» і спостерігати такі феномени поведінки складних систем, як порядок і хаос, катастрофи та інші нелінійні ефекти. При цьому структура і логіка роботи окремих програмних агентів вкрай прості, але вони демонструють надзвичайно складну поведінку системи в цілому, фактично утворюючи емерджентний інтелект. На відміну від традиційного, коли проводиться пошук деякого чітко визначеного алгоритму, що дозволяє знайти найкраще вирішення проблеми, в мультиагентних технологіях рішення виходить автоматично в результаті взаємодії множини самостійних програмних модулів (агентів).

Програмні агенти функціонують у віртуальному світі і взаємодіють між собою шляхом посилки повідомлень. Як результат взаємодії агентів, формується поточне рішення проблеми, яке гнучко змінюється відповідно до динаміки середовища. Зазвичай взаємодія агентів моделюється як переговори або аукціон [7, 18]. Одним з можливих різновидів переговорів агентів є торгівля, коли існують агенти потреб і агенти можливостей (наприклад, ресурсів), між якими відбуваються переговори, в рамках віртуального ринку.

Систему електронного навчання будемо розглядати як відкриту систему, яка об'єднує розподілені інформаційні навчальні ресурси та до якої постійно звертаються споживачі. При цьому запити щодо інформаційних ресурсів виникають постійно, але потреба в ресурсах змінюється динамічно, та не може бути передбачена заздалегідь. Тому для формалізації розподілу ресурсів у системі електронного навчання автор пропонує використати модель мережі, яка формується динамічно та у кожний момент часу відображає взаємозв'язок між потребами та можливостями системи (рис. 1).

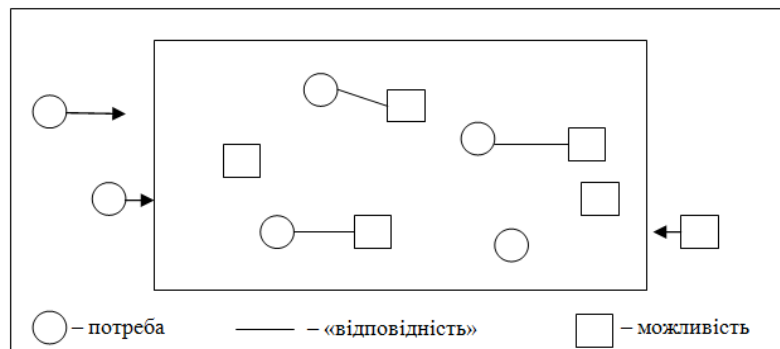


Рис. 1 – Мережа можливостей та потреб

Визначимо два типи автономних агентів, що взаємодіють у системі – агенти-потреби (АП) та агенти-можливості (АМ). Усі агенти діють відповідно до власних цілей та за певними правилами, що дозволяє їм діяти самостійно та взаємодіяти один з одним. На множині агентів можна визначити відношення, які пов'язують агентів. Залежно від типу та складності задачі, яка вирішується, можна визначити різноманітні відношення. В даній роботі розглядається найпростіше відношення між двома типами агентів – це «відповідність».

У загальному вигляді запропонована модель мультиагентної системи функціонує наступним чином. У кожний момент часу система формує набір можливостей – це ресурси, які є вільними на цей момент. В систему поступають заявки на використання ресурсів – це потреби. Усі потреби та можливості в системі представляються як автономні агенти, які шляхом переговорів встановлюють між собою відношення відповідності. У разі коли агент-потреба та агент-можливість встановили відношення «відповідність», вони перестають бути вільними та не приймають участь у подальших переговорах з іншими агентами. Множина агентів обох типів та зв'язки між ними формують у кожен момент часу стан динамічної системи розподілу ресурсів в системі електронного навчання.

Формально таку мультиагентну систему можна представити множиною

$$G = \{A, R, M, V\}, \quad (1)$$

де A – множина агентів (АП та АМ);
 R – множина можливих відношень між агентами;
 M – множина правил прийняття рішень та встановлення або розірвання зв'язків між агентами;
 V – множина цілей, згідно яких діють агенти.

У загальному вигляді така мультиагентна система представляє собою орієнтований граф, де вершини – це агенти, а дуги – це відношення між агентами. Таке представлення дозволяє використовувати весь математичний апарат теорії графів, а також задавати будь-які відношення для моделювання певної задачі управління в системі електронного навчання.

Розглянемо загальну схему взаємодії агентів. З метою спрощення моделі встановимо наступні обмеження (рис. 2). По-перше, в системі функціонує два типи агентів – АМ і АП, між якими можливо встановити тільки один тип відношень – «Відповідність». По-друге, усі агенти взаємодіють в межах віртуального середовища (ринку), де вони можуть шукати відповідних агентів, проводити торги та встановлювати зв'язок, утворюючи відповідну пару. По-третє, кожна потреба та кожна можливість характеризується вектором індивідуальних особливостей, відповідно до яких агенти шукають собі пару. По-четверте, усі агенти мають власну функцію корисності, яку вони прагнуть максимізувати.

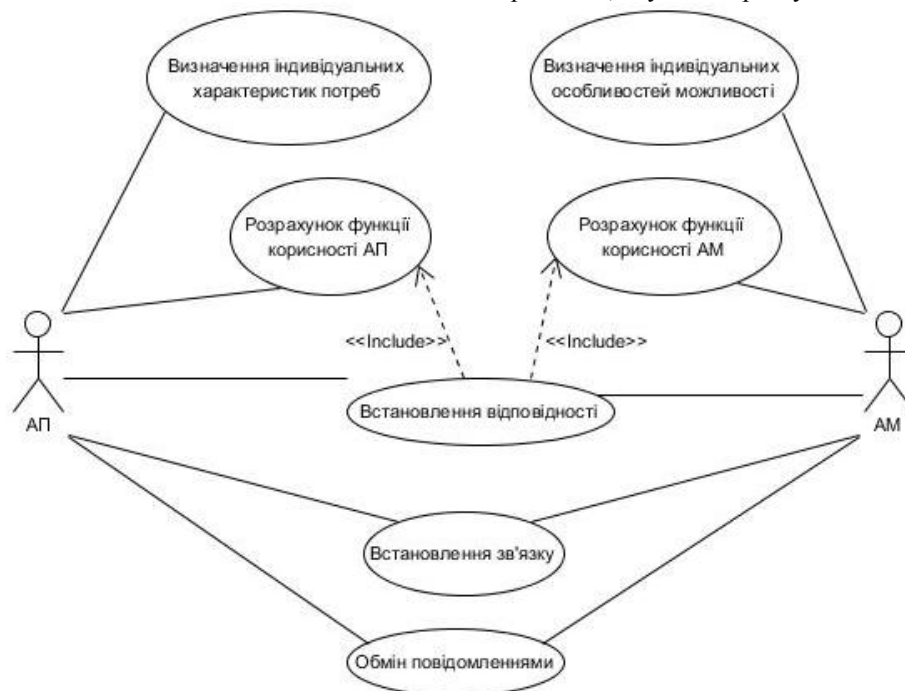


Рис. 2 – Варіанти використання агентів

Однією з проблем, що виникають в системі електронного навчання, є проблема координації. Частково вирішення цієї задачі можливо при деталізації множини правил прийняття рішень агентами [5, 8, 18]. У загальному випадку можливі такі види координації:

- 1) координація відносно задачі, яка вирішується на верхньому рівні управління;
- 2) координація відносно задач, які вирішуються в кожній з підсистем ієрархічної системи управління;
- 3) координація відносно компромісного значення цільових функцій підсистем ієрархічної системи управління.

Визначимо $f_i(x_i, u_i)$ – критерії прийняття рішень на рівні локальних підсистем, наприклад, цільові функції агентів, які визначають правила прийняття рішень при веденні переговорів, де x_i і u_i – рішення відповідних локальних задач управління. Тоді загальний критерій ефективності всієї системи можна надати наступним чином.

$$F(x, u) = \sum_{i=1}^N L_i f_i(x_i, u_i) \rightarrow \max, \quad u_i \in U_i$$

$$U = U_1 \times U_2 \times \dots \times U_N,$$

де N – кількість підсистем в системі управління,
 L_i – ваговий коефіцієнт важливості i -го локального критерію.

Вирішення цієї задачі зводиться до вирішення локальних задач управління, які формально можна записати таким чином:

$$f_i(x_i, u_i, \bar{s}_i) \rightarrow \max, \quad u_i \in U_i$$

де $\bar{s}_i \in S$ – параметр координації, значення якого задано для кожної локальної задачі.

Тоді загальна координаційна задача трансформується таким чином:

$$F(x, u) = \sum_{i=1}^N L_i f_i(\bar{x}_i, \bar{u}_i, s_i) \rightarrow \max, \quad s_i \in S$$

де \bar{x}_i і \bar{u}_i – рішення відповідних локальних задач управління.

Алгоритм взаємодії АМ та АП у мультиагентній системі можна описати наступними кроками (рис. 3).

Крок 1. Створення агента потреби та формування повідомлення усім існуючим в системі АМ про необхідність ресурсу з певними характеристиками h .

Крок 2. Формування АМ пропозицій щодо потреби з характеристиками h , при чому пропозицію надають усі АМ, які мають необхідні характеристики h у повному обсязі або частково.

Крок 3. Прийняття рішення АП згідно власної функції корисності та встановлених правил прийняття рішень.

Крок 4. Прийняття рішення АМ, якщо є конкуруючі заявки, то зв'язок встановлюється з тим АП, для якого функція корисності АМ буде мати найліпше значення.

Крок 5. Встановлення зв'язку між АП та АМ, якщо обидва агенти дійшли згоди, не мають ліпших пропозицій та повністю згодні з умовами.

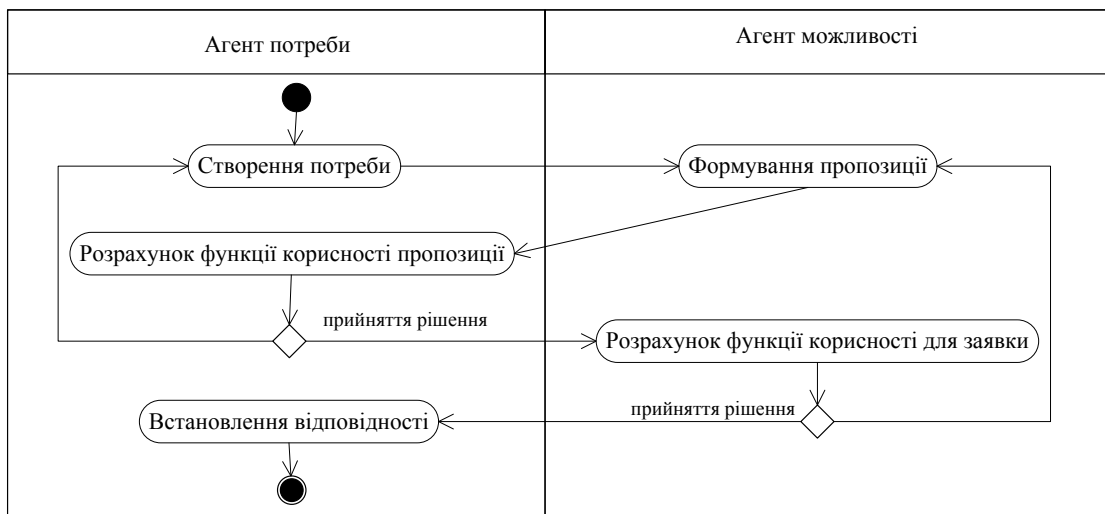


Рис. 3 – Взаємодія агентів

Крок 6. Розрив зв'язку виконується після повідомлення агентом про відмову та підтвердження іншою стороною згоди, або у разі коли потреба або ресурс видаляється із системи, то агент відправляє повідомлення про розрив зв'язку, а зв'язаний з ним агент починає знову шукати відповідну пару.

Крок 7. Процес виконується до тих пір, доки усі потреби не будуть задоволені та розраховується загальносистемна вартість.

Для реалізації запропонованого нами підходу на основі мережі взаємодії агентів-потреби та агентів-можливості у системі електронного навчання необхідно розробити мову взаємодії агентів, яка базується на визначеній онтології предметної галузі.

Нами виділено наступні спеціалізовані компоненти для роботи агентів в системі.

1. Компонент комунікації агентів – забезпечує взаємодію агентів, встановлення зв'язку між двома агентами, перевіряє допустимість варіантів рішень.

2. Компонент прийняття рішень – динамічно формує можливі варіанти прийняття рішень, оцінює рішення за встановленими критеріями та дозволяє обрати найліпший варіант.

3. Компонент поточних розрахунків – дозволяє проводити розрахунки значень атрибутів агентів, які необхідні для встановлення зв'язку та прийняття рішень, враховуючи взаємозв'язок понять з предметної онтології.

Описаний вище підхід може бути адаптований до вирішення будь-якого завдання управління ресурсами в системі електронного навчання. Запропонований метод дозволяє гнучко та оперативно реагувати на будь-які зміни у відкритій системі управління або у зовнішньому середовищі.

Висновки. Крім безлічі переваг застосування мультиагентного підходу для вирішення завдань оперативної обробки даних має декілька суттєвих невіршених питань, а саме:

- достатньо важко оцінити рішення щодо його оптимальності;
- рішення чутливі до історії подій;
- невеликі зміни на вході системи можуть привести до суттєвих змін на виході;
- можливі затримки часу на вирішення завдання як наслідок великих ланцюгів змін;
- можливо отримати неідентичні рішення за умов однакового входу при повторному запуску моделі;
- певні труднощі при корегуванні рішення у «ручному» режимі;
- можливі непорозуміння при поясненні результатів як наслідок складних причинно-наслідкових зв'язків.

Перелічені проблеми потребують вирішення з метою реалізації мультиагентної системи та є напрямками майбутніх досліджень.

Таким чином, в рамках даної наукової роботи отримані наступні результати:

- отримала подальший розвиток постановка задачі розробки мультиагентної системи оперативної обробки даних за рахунок формалізації проблеми використання ресурсів електронного навчання;
- запропоновано використання мережі потреб та властивостей для вирішення завдань розподілу ресурсів в системі електронного навчання в режимі реального часу, що на відміну від існуючих підходів дозволяє будувати рішення будь-якої складної задачі як динамічної мережі зв'язків, які гнучко змінюються в реальному часі;
- розроблено формальну модель взаємодії агентів в процесі встановлення балансу між потребами та можливостями системи електронного навчання.

Список літератури

1. Янголенко О. В., Лютенко І. В., Яковлева О. В. Аналіз стану інформаційних технологій в системі вищої освіти // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Харків: НТУ «ХПІ». 2012. № 30. С. 105-109.
2. University Management System – UMS. URL : <http://www.techxact.com/university-management-system-ums.html>. – (дата звертання : 13 жовтня 2017).
3. Концепція розвитку електронного (e-навчання) в НТУ «ХПІ» на 2009–2016 pp. URL : http://cde.kpi.kharkov.ua/cdes/New/Conception_eL.pdf. (дата звертання : 20 листопада 2017).
4. Henderson-Seller B., Giorgini P. *Agent-Oriented Methodologies*. London : Idea Group Publishing, 2005. 413 p.
5. Wooldridge M. J. *An introduction to multiagent systems* John Wiley & Sons, LTD, 2009. 461 p.
6. Russell S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 3rd Edition. Paris : Pearson Education France, 2010. 1152 p.

7. Городецкий В. И., Грушинский М. С., Хабалов А. В. Многоагентные системы (обзор). URL : <http://www.raai.org/library/ainews/1998/2/ggkhmas.zip>. (дата звертання : 22 листопада 2017).
8. Alkhateeb F., Maghayreh E. Al., Abu Doush I. *Multi-Agent Systems – Modeling, Interactions, Simulations and Case Studies*. InTech, 2011. 512 p.
9. Weiss G. *Multiagent Systems*. MIT Press, 2013. 867 p.
10. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. URL : <http://www.yugzone.ru/x/tarasov-v-b-ot-mnogoagentnykh-sistem-k-intellektual-nym-organizatsiyam> (дата звертання : 15 листопада 2017).
11. Субботін С. О., Олійник А. О., Олійник О. О. Неітеративні еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечітко логічних і нейромережних моделей / Під заг. ред. Субботіна С. О. Запоріжжя : ЗНТУ, 2009. 375 с.
12. Ладанок П. П. Основы системного анализа. Учебное пособие. Винница : Нова книга. 2004. 176 с.
13. Биков В. Ю. Модели організаційних систем відкритої освіти. Київ : Атіка. 2009. 684 с.
14. Кравцов Г. М. Структура системы управления качеством электронных ресурсов обучения // Информационные технологии в образовании. 2011. № 10. С. 94–101.
15. Кравцов Г. М. Моделирование системы управления качеством электронных ресурсов обучения : интегрированный и дифференцированный подходы обучения // Информационные технологии в образовании. 2012. № 11. С. 24–31.
16. Шишкіна М. Перспективні технології розвитку систем електронного навчання // Інформаційні технології в освіті. 2011. № 10. С. 132–139.
17. Symeonidis A. L., Mitkas P. A. *Agent Intelligence through Data Mining*. Aristotle University of Thessaloniki, Greece: Springer, 2005. 201 p.
18. Li Z., Duan Z. *Cooperative Control of Multi-Agent Systems: A Consensus Region Approach*. CRC Press, 2014. 252 p.

References (transliterated)

1. Yanholenko O. V., Liutenko I. V., Yakovleva O. V. Analiz stanu informatsiynykh tekhnolohii v systemi vyshchoi osvity [The state analysis of information technology in higher education]. *Visnyk NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2012, no. 30, pp. 105–109.
2. *University Management System – UMS*. Available at: <http://www.techxact.com/university-management-system-ums.html>. (accessed 13.10.2017)
3. *Kontseptsiiia rozvytku elektronnoho (e-navchannia) v NTU «KhPI» na 2009-2016 rr.* [The development concept of electronic (e-learning) in NTU "KPI" on 2009–2016]. Available at: http://cde.kpi.kharkov.ua/cdes/New/Conception_eL.pdf. (accessed 20.11.2017)
4. Henderson-Seller B., Giorgini P. *Agent-Oriented Methodologies*. London, Idea Group Publishing, 2005, 413 p.
5. Wooldridge M. J. *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons, LTD, 2009, 461 p.
6. Russell S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 3rd Edition. Paris, Pearson Education France, 2010, 1152 p.
7. Horodetskyi V. Y., Hrushynskyi M. S., Khabalov A. V. *Mnohoahentnye sistemy (obzor)* [Multi-agent systems (review)]. Available at: <http://www.raai.org/library/ainews/1998/2/ggkhmas.zip>. (accessed 22.11.2017).
8. Alkhateeb F., Al Maghayreh E., Abu Doush I. *Multi-Agent Systems – Modeling, Interactions, Simulations and Case Studies*. InTech, 2011, 512 p.
9. Weiss G. *Multiagent Systems*. MIT Press, 2013, 867 p.
10. Tarasov V. B. *От многоагентных систем к интеллектуальным организациям* [From multiagent systems to intellectual organizations]. Available at: <http://www.yugzone.ru/x/tarasov-v-b-ot-mnogoagentnykh-sistem-k-intellektual-nym-organizatsiyam> (accessed 15.11.2017).
11. Subbotin S. O., Oliynyk A. O., Oliynyk O. O. *Neiterativni evoliutsiini ta multyahentni metody syntezy nechitko lohichnykh i neyromerezhnykh modelei* [Netherstown evolutionary and multiagent methods of synthesis of fuzzy logic and neural network models]. Zaporizhzhia, ZNTU, 2009, 375 p.

12. Ladaniuk P. P. *Osnovy systemnoho analyza. Uchebnoe posobie* [Fundamentals of systems analysis. Tutorial]. Vynnytsa, Nova knyha, 2004, 176 p.
13. Bykov V. Yu. *Modeli orhanizatsiynykh system vidkrytoi osvity* [Organizational systems models of open education]. Kyiv, Atika, 2009, 684 p.
14. Kravtsov H. M. Struktura sistemy upravlenija kachestvom elektronnykh resursov obuchenija [Quality management system structure of the electronic training resources]. *Informatsionnye tekhnologii v obrazovanii* [Information technologies in educational]. 2011. no 10, pp. 94–101.
15. Kravtsov H. M. Modelirovanie sistemy upravlenija kachestvom elektronnykh resursov obucheniya : intehrirovanny i differentsirovannyi podkhody obucheniya [Modeling of the quality management system of electronic training resources : integrated and differentiated approaches to learning]. *Informatsionnye tekhnologii v obrazovanii* [Information technologies in educational]. 2012. no 11, pp. 24–31.
16. Shyshkina M. Perspektivni tekhnologii rozvytku system elektronnoho navchannia [Perspective technologies of e-learning systems development] *Informatsiini tekhnologii v osviti* [Information technologies in educational]. 2011. no 10, pp. 132–139.
17. Symeonidis A. L., Mitkas P. A. *Agent Intelligence through Data Mining*. Aristotle University of Thessaloniki, Greece, Springer, 2005, 201 p.
18. Li Z., Duan Z. *Cooperative Control of Multi-Agent Systems: A Consensus Region Approach*. CRC Press, 2014, 252 p.

Надійшло (received) 07.12.2017

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шубін Ігор Юрійович (Шубин Игорь Юрьевич, Shubin Igor Yurijovich) – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри програмної інженерії; тел.: (099) 679-07-11; e-mail: igor.shubin@nure.ua; ORCID ID: 0000-0002-1073-023X.

Кириченко Ірина Віталіївна (Кириченко Ирина Витальевна, Kyrychenko Iryna Vitaliivna) – Харківський національний університет радіоелектроніки, інженер кафедри програмної інженерії; тел.: (067) 570-71-02; e-mail: iryna.kyrychenko@nure.ua; ORCID ID: 0000-0002-7686-6439.